

KAJIAN BAHAYA RADIASI TERHADAP NORM DALAM SEDIMEN PERMUKAAN DI LINGKUNGAN DAS CISADANE HULU DAN CIUJUNG HULU

EVALUATION OF RADIATION HAZARDS TO NORM IN SEDIMENT SURFACE IN THE CISADANE HULU AND CIUJUNG HULU

Tommy Hutabarat
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), BATAN
Jl. Cinere Pasar Jumat, Jakarta Selatan, Kotak Pos 7002 JKSKL, Jakarta 12070
e-mail : tevarito@batan.go.id

Diterima: 16 Mei 2018, diperbaiki : 18 Mei 2018, disetujui : 25 Mei 2018

ABSTRAK

KAJIAN BAHAYA RADIASI TERHADAP NORM DALAM SEDIMEN PERMUKAAN DI LINGKUNGAN DAS CISADANE HULU DAN CIUJUNG HULU. Manusia secara terus menerus terpapar radiasi karena kehadirannya dimana – mana di bumi. NORM berpotensi memberikan dampak radiologi baik berupa paparan radiasi eksternal maupun internal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi radioaktivitas NORM dalam sedimen sungai pada DAS Cisadane Hulu dan DAS Cijung Hulu. Pengambilan sampel permukaan endapan sedimen dilakukan menggunakan scrapper. Seluruh sampel dikeringkan pada suhu kamar selama 3–4 hari. Setelah kering, sampel digerus halus (200 mesh) menggunakan mortar, kemudian diayak dan ditimbang secara seksama sebanyak 0,5 kg dan dimasukkan ke dalam tabung plastik polietilen dan di-seal. Pengukuran radionuklida U-238 dan Th-232 beserta turunannya dan radionuklida K-40 dilakukan menggunakan spektrometer gamma. Konsentrasi radionuklida alam U-238, Th-232, dan K-40 yang diperoleh dari ke dua lokasi DAS sangat kecil dibawah baku mutu yaitu sebesar 25 Bq/kg dan masih dibawah rata-rata dunia. Sebaran konsentrasi U-238 di kedua lokasi berkisar antara 6,38 – 17,67 Bq/kg, konsentrasi aktivitas Th-232 dan K-40 masing-masing berkisar anatara 11,56 – 23,45 Bq/kg dan 49,76 – 289,65 Bq/kg. Nilai Ra eq pada ke dua lokasi DAS berkisar antara 34,799 - 56,912 Bq/kg masih dibawah batas yang direkomendasikan oleh UNSCEAR yaitu sebesar 370 Bq/kg. Nilai indeks bahaya radiasi I_γ, indeks bahaya radiasi internal (I_{bi}), dan indeks bahaya radiasi eksternal (I_{be}) di kedua lokasi DAS masing-masing < 1 sehingga masih aman terhadap manusia. Dari hasil uji statistik terhadap parameter Ra eq dan tingkat bahaya radiasi tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara ke dua lokasi DAS.

Kata kunci : NORM, sedimen, indek bahaya radiasi

ABSTRACT

EVALUATION OF RADIATION HAZARDS TO NORM IN SEDIMENT SURFACE IN THE CISADANE HULU AND CIUJUNG HULU. Humans are constantly exposed to radiation because of its presence everywhere on earth. NORM has the potential to provide radiological impacts either in the form of external and internal radiation exposure. This study aims to determine the concentration of NORM radioactivity in river sediments in Cisadane Hulu Watershed and Cijung Hulu Watershed. Sampling of the sediment of the surface is carried out using scrapper. The entire sample is dried at room temperature for 3-4 days. After drying, a fine smeared sample (200 mesh) uses mortar, then sieved and carefully weighed as much as 0.5 kg and inserted into a polyethylene plastic tube and seal. Measurements of radionuclides U-238 and Th-232 along with their derivatives and K-40 radionuclides were performed using a gamma

spectrometer. The concentrations of natural radionuclides U-238, Th-232, and K-40 obtained from the two watershed locations are very small below the 25 Bq/kg standard and still below the world average. The distribution of U-238 concentrations in both locations ranged from 6.38 to 17.67 Bq/kg, the concentration of Th-232 and K-40 activity ranged between 11.56 - 23.45 Bq/kg and 49.76 - 289.65 Bq/kg. The value of Ra eq in the two watershed locations ranged from 34.799 - 56.912 Bq / kg was still brought to the limit recommended by UNSCEAR of 370 Bq/kg. Iy radiation hazard index values, internal radiation hazard index (Ibi), and external radiation hazard index (Ibe) in both watershed locations <1 each are still safe against humans. From the result of statistical test on Ra eq parameter and radiation hazard level there is no significant difference between the two watershed locations.

Key words : NORM, sediments, hazards index

PENDAHULUAN

Degradasi sumber daya tanah dan lingkungan merupakan masalah yang dihadapi oleh banyak negara termasuk Indonesia. Batuan sedimen pada permukaan bumi akan mengalami pelapukan yang kemudian akan terkikis oleh air hujan sebagai akibat dari proses fisika dan kimia. Sedimen lepas yang terangkut bersama air hujan akan bergerak menuju sungai sebagai tempat pembuangan akhir sebelum menuju ke laut. Menurut Wigman, 1970 ^[1] sedimen didefinisikan sebagai setiap serpihan material yang terangkut, tersuspensi atau terdeposisi oleh media seperti air, udara atau es.

Bahan radioaktif alami (NORM) dari deret uranium-238, deret thorium-232 dan potassium-40 terdapat dimana-

mana di kerak bumi. Konsentrasi radionuklida ini tergantung pada komposisi tanah dan batuan. Semua nuklida ini menghasilkan dosis radiasi untuk semua makhluk hidup. Peluruhan radioaktif U-238 dan Th-232 menghasilkan beberapa rangkaian anak luruh yang berbeda unsur dan karakteristik fisiknya sehubungan dengan waktu paro, bentuk peluruhan, jenis dan energi radiasi yang dipancarkan ^[2]. U-238 dan Th-232 mempunyai umur paro yang sangat panjang (milyaran tahun) dan dalam proses peluruhannya akan menghasilkan berbagai macam anak luruh dengan umur paro dari orde detik sampai ribuan tahun seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Deret U -238 danTh-232 bersama anak luruhnya ^[3]

Unsur	Waktu paro	Mode peluruhan
U-238	4,5 x 10 ⁹ tahun	alfa
Th-234	24,10 hari	beta
Pa-234m	1,2 menit	beta
U-234	2,5 x 10 ⁵ tahun	alfa
Th-230	7,7 x 10 ⁴ tahun	alfa
Ra-226	1,6 x 10 ³ tahun	alfa
Rn-222	3,8 hari	alfa
Po-218	3,05 menit	alfa
Pb-214	26,8 menit	beta
Bi-214	19,9 menit	beta

Po-214	$1,6 \times 10^{-4}$ detik	alfa
Pb-210	22,3 tahun	beta
Bi-210	5 hari	beta
Po-210	138 hari	alfa
Pb-206	stabil	
Th-232	$1,4 \times 10^{10}$ tahun	alfa
Ra-228	5,8 tahun	beta
Ac-228	6,13 jam	beta
Th-228	1,9 tahun	alfa
Ra-224	3,64 hari	alfa
Rn-220 (gas)	55 detik	alfa
Po-216	0,15 detik	alfa
Pb-212	10,6 jam	beta
Bi-212	60,6 menit	alfa, beta
T-208	3,1 menit	beta
Po-212	3×10^{-7} detik	alfa
Pb-208	stabil	

Sumber kegiatan manusia yang dapat membantu menyebarkan zat radioaktif ke lingkungan adalah pertanian, pertambangan dan industri. Unsur radioaktif yang terdapat pada sebagian besar pupuk kimia (fosfat, NPK, KCl) terutama pupuk yang mengandung fosfat, pada umumnya adalah unsur radioaktif alam yang mempunyai waktu paro sangat panjang. Unsur radioaktif tersebut antara lain adalah Uranium, Torium, dan Kalium sehingga dalam jangka waktu lama akan terjadi penumpukan atau akumulasi di alam^[4].

Analisis zat radioaktif yang terkandung dalam sedimen dilakukan menggunakan alat spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor semikonduktor HPGe (*High Pure Germanium*), MCA (*Multi Channel Analyzer*) yang mempunyai 8000 salur dan perangkat lunak Gennie 2000 untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Pengukuran radionuklida U-238 dan Th-232 dalam sampel sedimen dilakukan dengan metode pasif. Pada penentuan secara pasif, aktivitas unsur radionuklida

U-238 dihitung berdasarkan aktivitas anak luruhnya yaitu Pb-214 dan Bi-214 yang memancarkan radiasi gamma masing-masing pada energi 352 keV dan 609 keV dengan $P_{\gamma} = 37\%$ dan 45% . Radionuklida alam Th-232 dihitung berdasarkan aktivitas spesifik Pb-212 dan Ac-228 yang memancarkan radiasi gamma pada energi 238,63 keV dan 911 keV dengan kelimpahan $P_{\gamma} = 43\%$ dan 25% . Demikian juga untuk radionuklida K-40 dihitung langsung pada energi 1460,83 keV dengan $P_{\gamma} = 10,67\%$ ^[5].

BAHAN DAN METODE

Pengambilan sampel

Sampel sedimen sungai DAS Ciujuung Hulu diambil dari lokasi muara sungai Ciberang dan Ciujuung, sungai Ciberang, sungai Cisemeut, dan sungai Ciujuung (tabel 2), sedangkan pada sedimen sungai DAS Cisadane Hulu diambil dari lokasi sungai Cisadane Hulu; sungai Cianten; sungai Cikaniki; muara sungai Cianten–Cikaniki; dan sungai Cisadane Hilir (tabel 3).

Tabel 2. Lokasi titik pengambilan sampel sedimen DAS Ciujung Hulu

No	Lokasi	Koordinat					
		BT			LS		
1	Muara sungai Ciujung dan sungai Ciberang	106 ⁰	19,24'	15,32"	6 ⁰	17,51'	33,53"
		106 ⁰	20,43'	50,31"	6 ⁰	18,08'	41,35"
		106 ⁰	21,52'	23,18"	6 ⁰	18,35'	44,37"
2	Sungai Ciberang	106 ⁰	21,71'	25,14"	6 ⁰	23,31'	53,54"
		106 ⁰	24,51'	23,19"	6 ⁰	24,18'	48,45"
		106 ⁰	26,82'	28,51"	6 ⁰	25,45'	52,37"
3	Sungai Cisemut	106 ⁰	18,37'	25,41"	6 ⁰	22,17'	47,78"
		106 ⁰	20,17'	50,41"	6 ⁰	24,25'	51,50"
		106 ⁰	18,52'	45,21"	6 ⁰	25,35'	51,47"
4	Sungai Ciujung	106 ⁰	16,46'	55,64"	6 ⁰	19,41'	43,44"
		106 ⁰	15,57'	58,71"	6 ⁰	21,48'	47,45"
		106 ⁰	12,51'	46,34"	6 ⁰	24,45'	50,37"

Tabel 3. Lokasi titik pengambilan sampel sedimen DAS Cisadane Hulu

No	Lokasi	Koordinat	
		BT	LS
1	Sungai Cisadane hulu	106 ⁰ 47,35'	6 ⁰ 33,71'
		31,57"	43,14"
		106 ⁰ 45,53'	6 ⁰ 31,78'
		30,35"	41,85"
		106 ⁰ 40,92'	6 ⁰ 29,85'
2	Sungai Cianten	27,28"	40,57"
		106 ⁰ 37,71'	6 ⁰ 33,71'
		25,14"	43,14"
		106 ⁰ 37,71'	6 ⁰ 31,78'
		25,14"	41,85"
3	Sungai Cikaniki	106 ⁰ 37,82'	6 ⁰ 29,85'
		25,21"	40,57"
		106 ⁰ 32,57'	6 ⁰ 30,17'
		21,71"	40,78"
		106 ⁰ 35,57'	6 ⁰ 31,25'
		23,71"	41,50"
		106 ⁰ 37,82'	6 ⁰ 31,35'
		25,21"	41,57"

4	Muara Cikaniki – Cianten	106° 38,46'	6° 31,35'
		25,64"	41,57"
		106° 38,57'	6° 30,25'
		25,71"	40,50"
5	Sungai Cisadane hilir	106° 39,21'	6° 29,85'
		26,14"	40,57"
		106° 38,35'	6° 26,64'
		25,57"	38,42"
		106° 39,42'	6° 27,50'
		26,28"	39,00"
		106° 39,64'	6° 28,46'
		26,42"	39,64"

Sampel sedimen berupa sedimen suspensi kering atau basah yang terjebak oleh batuan akibat berkurangnya debit aliran. Sampel sedimen diambil pada periode bulan April s/d Oktober 2017. Pengambilan sampel permukaan endapan sedimen dilakukan secara acak disekitar titik lokasi menggunakan sendok semen. Sebanyak 1 kg sampel sedimen suspensi setiap titik lokasi dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi kode, kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan preparasi selanjutnya.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah beberapa sampel sedimen suspensi yang mewakili anak sungai; sungai utama dan muara sungai, standar yang mengandung unsur radioaktif berenergi rendah hingga tinggi (*Sea sediment IAEA-300*), nitrogen cair; *software* pencacah dan pengolah data Gennie 2000 dan bahan pendukung lainnya.

Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah seperangkat spektrometer gamma buatan Canberra yang dilengkapi dengan detektor semikonduktor HPGe (*High Pure Germanium*), MCA (*Multi*

Channel Analyzer); timbangan; ayakan dan sendok semen.

Metode Analisis

Masing-masing sampel digerus halus (200 mesh) menggunakan mortar, kemudian diayak dan ditimbang secara seksama sebanyak 0,5 kg dan dimasukkan kedalam tabung plastik polietilen dan di-*seal*. Sampel dibiarkan selama ± 1 bulan agar terjadi kesetimbangan. Sebelum pengukuran sampel, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi yang meliputi kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Kalibrasi energi dilakukan dengan mencacah radionuklida yang telah diketahui energinya, kemudian dibuat kurva hubungan antara nomor salur (*channel*) versus energi gamma (keV). Kalibrasi efisiensi dilakukan dengan mencacah sumber standar yang telah diketahui aktivitasnya dan kemudian ditentukan efisiensi tiap-tiap puncak energi gamma yang teramati, selanjutnya dapat dibuat kurva hubungan antara energi gamma (keV) versus efisiensi.

Penentuan nilai efisiensi setiap energi dihitung dengan mengukur cacahan sumber standar yang telah diketahui aktivitasnya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon_Y = (Cps_s - Cps_{bg}) / A_t \times \rho_Y \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- ε_Y = nilai efisiensi pada setiap energi dari standar Eu-152 (%)
 Cps = cacah standar dan cacah latar
 A_t = aktivitas standar saat pengukuran (dps)
 ρ_Y = kelimpahan energi gamma standar Eu-152 (%)

Dari kurva efisiensi akan diperoleh nilai efisiensi setiap energi yang diperlukan untuk menghitung aktivitas radionuklida dalam sampel. Langkah selanjutnya sampel dicacah menggunakan detektor HPGE yang terhubung dengan *Multi channel Analyzer*. Setiap sampel dicacah selama 24 jam.

Perhitungan aktifitas spesifik radionuklida alam dalam sampel menggunakan rumus:

$$A_s = \{ (N_1 - N_b) \pm \sigma \} / \{ \varepsilon \times \rho \times F_k \times W \} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- A_s = aktifitas spesifik radionuklida (Bq/kg)
 N_1 = laju cacah radionuklidaalam dalam sampel (cps)
 N_2 = laju cacah radionuklida alam latar (cps)
 σ = standar deviasi pengukuran
 ε = efisiensi pencacahan
 ρ = kelimpahan energi gamma (%)
 F_k = Faktor koreksi serapan diri
 W = berat sampel (kg)

Selanjutnya pencacahan dan hasil cacahan dianalisis menggunakan program Gennie 2000. Faktor koreksi diperlukan bila terjadi perbedaan antara densitas sampel dan standar [6]:

$$F_k = \frac{\mu t}{1 - e^{-\mu t}} \dots\dots\dots(3)$$

dimana : $\mu = \mu_m \rho$ dan $\mu_m = 1,287 E^{-0,435}$ dengan :

- F_k = faktor koreksi serapan diri
 μ = faktor serapan linier (cm⁻¹)
 t = tebal sampel (cm)
 μ_m = faktor serapan massa pada energi gamma
 ρ = kerapatan sampel (g/cm³)
 E = energi gamma (keV)

Aktivitas Radium equivalen (Ra eq) merupakan indeks umum yang digunakan untuk membandingkan aktivitas spesifik bahan yang mengandung Ra-226, Th-232, dan K-40 dan secara matematis didefinisikan oleh [7,8,9].

Perhitungan aktivitas Radium ekivalen dilakukan menggunakan rumus:

$$Ra_{eq} = kons Ra + 1,43 kons Th + 0,077 kons K-40 \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

$kons Ra + 1,43 kons Th + 0,077 kons K-40$ adalah konsentrasi aktivitas (Bq/kg) untuk masing – masing Ra-226, Th-232, dan K-40.

Estimasi tingkat bahaya radiasi gamma terkait dengan radionuklida alam dalam sampel sedimen dapat dihitung menggunakan indek bahaya radiasi ($I_{\gamma r}$) [10].

$$(I_{\gamma r}) = \left(\frac{A_{Ra}}{150} + \frac{A_{Th}}{100} + \frac{A_K}{1500} \right) \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

C_{Ra} , C_{Th} dan C_K adalah aktivitas spesifik (Bq/kg) untuk masing-masing Ra-226, Th-232, dan K-40.

Indeks bahaya eksternal (I_{be}) merupakan indeks bahaya radiasi yang banyak digunakan untuk paparan eksternal yang didefinisikan sebagai berikut [11]:

$$I_{Be} = \left(\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) \leq 1 \dots\dots\dots(6)$$

Selain indeks bahaya radiasi eksternal, radon dan turunan yang berumur pendek

juga berbahaya bagi organ pernapasan yang disebut sebagai indeks bahaya internal yang didefinisikan sebagai berikut ^[11] :

$$IBi = \left(\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) \leq 1 \quad \text{.....(7)}$$

Nilai indeks (IB_e dan IB_i) harus kurang dari satu untuk keselamatan radiologi ^[12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas U-238, Th-232, dan K-40 dalam sampel sedimen

Data rerata konsentrasi aktivitas U-238, Th-232, dan K-40 dalam sedimen

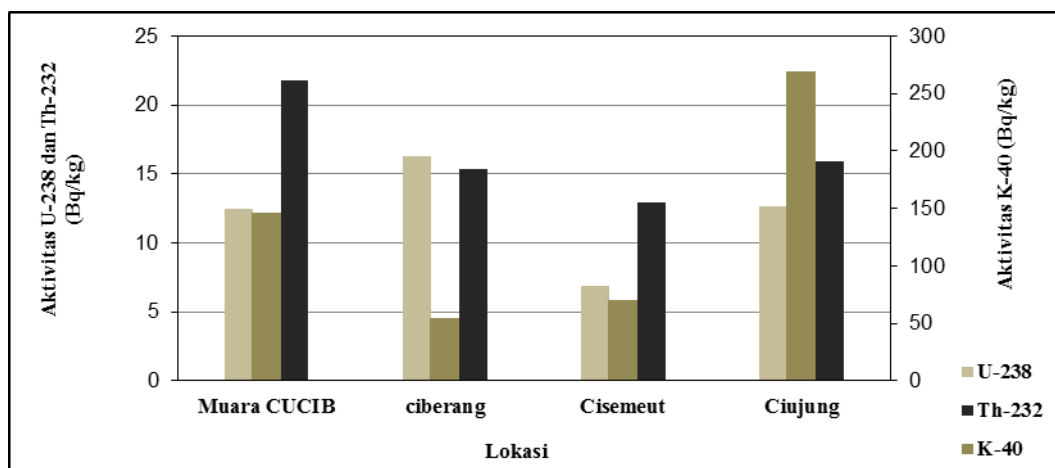
lokasi DAS Ciujung Hulu dan DAS Cisdane Hulu masing-masing disajikan pada tabel 4 dan 5. Sebaran konsentrasi U-238 di kedua lokasi berkisar antara 6,38 – 17,67 Bq/kg, konsentrasi aktivitas Th-232 dan K-40 masing-masing berkisar antara 11,56 – 23,45 Bq/kg dan 49,76 – 289,65 Bq/kg. Konsentrasi U-238 dan Th-232 di kedua lokasi penelitian masih dibawah nilai rata-rata dunia yaitu sebesar 25 Bq/kg ^[13]. Histogram sebaran konsentrasi U-238; Th-232 dan K-40 dalam sedimen yang dicuplik di kedua lokasi DAS dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.

Tabel 4. Rerata konsentrasi aktifitas U-238, Th-232, dan K-40 DAS Ciujung Hulu

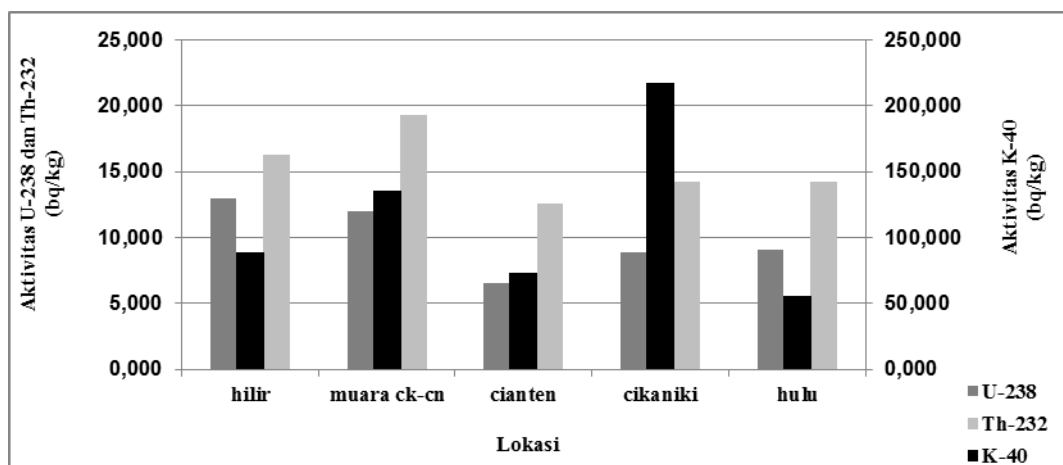
No.	Lokasi	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)
1.	Muara Ciberang-Ciujung	12,47 ± 0,20	21,82 ± 0,24	146,51 ± 0,53
2.	Sungai Ciberang	16,28 ± 0,33	15,36 ± 0,49	54,69 ± 0,45
3.	Sungai Cisemut	6,86 ± 0,45	12,89 ± 0,25	70,63 ± 0,31
4.	Sungai Ciujung	12,67 ± 0,39	15,92 ± 0,53	269,29 ± 0,52

Tabel 5. Rerata konsentrasi aktifitas ²³⁸U, ²³²Th, dan ⁴⁰K DAS Cisdane Hulu

No.	Lokasi	U-238 (bq/kg)	Th-232 (bq/kg)	K-40 (bq/kg)
1.	Sungai Cisdane Hulu	9.09 ± 0,21	14.25 ± 0,33	55.26 ± 1,27
2.	Sungai Cikaniki	8.87 ± 0,20	14.24 ± 0,32	217.65 ± 5,01
3.	Sungai Cianten	6.53 ± 0,15	12.61 ± 0,29	72.93 ± 1,66
4.	Muara Cikaniki-Cianten	11.98 ± 0,27	19.33 ± 0,44	135.65 ± 3,11
5.	Cisdane Hilir	12.94 ± 0,29	16.31 ± 0,37	88.58 ± 2,03



Gambar 1 . Histogram konsentrasi radionuklida alam lokasi DAS Ciujung Hulu



Gambar 2 . Histogram konsentrasi radionuklida alam lokasi DAS Cisadane Hulu

Apabila mengacu pada peraturan Bapeten tahun 1999 mengenai baku mutu lingkungan, ditetapkan keberadaan U-238 dan Th-232 di alam sebesar 25 Bq/kg, maka tingkat paparan radionuklida sekitar lokasi penelitian masih dalam batas aman. sehingga kegiatan masyarakat setempat berupa penambangan pasir dan batu langsung dari sungai masih diperbolehkan, sepanjang untuk kebutuhan hidup. Apabila nilai konsentrasi diatas batas toleransi, umumnya sekitar titik lokasi atau di *daerah upstream* terdapat sumber

pencemar yang umumnya berasal dari kawasan industri seperti pabrik pupuk fosfat, industri kimia, fasilitas-fasilitas pengolahan limbah industri dan fasilitas industri lainnya, sedangkan K-40 belum diatur^[14].

Perbandingan konsentrasi rerata Th-232, Ra-226, dan K-40 dalam sedimen DAS Ciujung Hulu dan DAS Cisadane Hulu dan yang ditemukan dalam sedmen di tempat lain ditunjukkan pada tabel 6^[15].

Aktivitas konsentrasi Th-232 dan K-40 dalam sedimen DAS Ciujung Hulu

dan DAS Cisadane Hulu lebih kecil dari konsentrasi rerata dunia. Aktivitas konsentrasi Ra-226 yang diukur dalam penelitian ini lebih kecil dari nilai aktivitas konsentrasi negara – negara lain, namun lebih besar

Tabel 6. Perbandingan konsentrasi rerata NORM dalam sedimen DAS Ciujung Hulu dan DAS Cisadane Hulu dan yang ditemukan dalam sedimen di tempat lain di dunia

No.	Lokasi	²³² Th (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	referensi
1	World average concentration	40	-	370	Firyal (1996)
2	Kuwait national wide	10 ± 3,4	11,8 ± 4,0	332 ± 104	Firyal (1996)
3	Spain river Tagus	63	42	572	Baeza (1992)
4	Spain all soils	49	45	650	Baeza (1992)
5	Lake Nasser, Egypt	23	21	155	Ibrahiem (1995)
6	Lousiana, USA	36	64	472	Delune (1996)
7	French river – 1	38	38	599	Lambrechts (1992)
8	French river – 2	44	28	700	Descamps (1988)
9	Belgium	9 – 47	13 – 43	170 – 610	Deworm (1988)
10	China	90	50	527	Ziqiang (1988)
11	Greece-Milos island	60	50	881	Florou (1992)
12	Bangladesh, Karnapuli river	65,5	35,9	272	Chowdhury (1999)
13	Bangladesh, Shango river	57,5	27,8	255	Chowdhury (1999)
14	DAS Ciujung Hulu, Banten	16 ± 0,74	13 ± 0,64	135 ± 0,53	Penelitian (2017)
15	DAS Cisadane Hulu, Bogor	15 ± 0,35	13 ± 0,43	114 ± 0,61	Penelitian (2016)

dari negara Kuwait National Wide. Aktivitas konsentrasi Th-232 lokasi penelitian berada dalam kisaran yang diukur di tempat lain (Belgium) yaitu (9 – 47) Bq/kg.

Aktivitas Radium ekivalen (Ra eq), indeks bahaya radiasi (Iyr), indeks bahaya internal (Ibi), dan indeks bahaya eksternal (Ibe)

Radium ekivalen dan kajian radiologi dalam sampel sedimen di kedua lokasi DAS Ciujung Hulu dan Cisadane Hulu disajikan pada tabel 7 dan 8. Nilai radium ekivalen dalam sampel sedimen berkisar antara 34,799 bq/kg hingga 56,912 bq/kg. Seluruh nilai Ra eq tidak berbahaya karena masih dibawah

standar yang direkomendasikan oleh UNSCEAR yaitu sebesar 370 Bq/kg) [16].

Dari hasil perhitungan Indeks bahaya radiasi (Iyr) seluruh sampel sedimen diperoleh nilai maksimum sebesar 0,4281 dan minimum sebesar 0,2544. Kontribusi radionuklida radium, torium, dan kalium dalam sedimen terhadap tingkat bahaya radiasi menunjukkan bahwa nilai Iyr lebih kecil dari 1. Demikian juga pada tingkat bahaya radiasi internal (Ibi) dan tingkat bahaya radiasi eksternal (Ibe) diperoleh kisaran nilai masing - masing sebesar 0,1241 hingga 0,1899 dan 0,0939 hingga 0,1495. Tingkat bahaya radiasi internal dan eksternal yang dihasilkan dari radionuklida alam dalam sedimen diperoleh nilai lebih kecil dari 1 sehingga masih aman terhadap manusia [17].

Uji Statistik

Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan nilai-nilai Ra eq dan nilai tingkat bahaya radiasi antara

lokasi DAS Ciujung Hulu dan DAS Cisadane Hulu, maka perlu dilakukan uji hipotesis h_0 . Pada pengujian statistik digunakan metoda analisis varian dengan rancangan acak lengkap.

Tabel 7. Rerata nilai perhitungan Ra eq, Iyr, I Bi, Ibe sedimen DAS Ciujung Hulu

Lokasi	Ra eq (bq/kg)	Iyr	Ibi	Ibe
Muara ciberang -				
Ciujung	55,377	0,4018	0,1844	0,1495
Ciberang	41,699	0,2935	0,1545	0,1126
Cisemut	35,642	0,2544	0,1280	0,0962
Ciujung	56,912	0,4281	0,1899	0,1537

Tabel 8. Nilai perhitungan Ra eq, Iyr, I Bi, Ibe dalam sedimen DAS Cisadane Hulu

Lokasi	Ra eq (bq/kg)	Iyr	Ibi	Ibe
Cisadane hulu	40,887	0,2877	0,1543	0,1104
Cikaniki	51,850	0,3856	0,1798	0,1400
Cianten	34,799	0,2490	0,1241	0,0939
Muara cianten Cikaniki	51,331	0,3720	0,1744	0,1386
Cisadane hilir	41,962	0,3009	0,1452	0,1133

Pengujian statistik menggunakan metode analisis varian dengan rancangan acak lengkap bertujuan untuk melihat perbandingan antara antar perlakuan dan dalam perlakuan. Hasil perbandingan yang diperoleh disebut sebagai F_{hitung} akan dibandingkan dengan F_{tabel} untuk menguji keberterimaan hipotesis. Jika pada tingkat kepercayaan $\alpha = 5\%$, F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} maka hipotesis h_0 diterima yang menyatakan tidak terdapat

perbedaan secara signifikan. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai F_{hitung} parameter Ra eq, Iyr, I Bi, dan Ibe berturut-turut adalah 0,88, 0,88, 0,57, dan 0,88, dan F_{tabel} sebesar 4,30 disajikan pada tabel 9, 10, 11, dan 12. Berdasarkan hasil uji diperoleh bahwa nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, sehingga parameter – parameter uji di kedua lokasi DAS tidak berbeda secara nyata.

Tabel 9. Analisis varian Ra eq lokasi DAS Ciujung Hulu dan DAS Cisadane

Sumber variasi	DK	JK	KT= JK/DK	F	
				Hitung	Tabel
Antar perlakuan	1	70,056	70,056	0,88	4,30
Dalam perlakuan	24	1903,270	79,302		
Jumlah	25	1973,326			

Tabel 10. Analisis varian (I_{yr}) lokasi DAS Ciujung Hulu dan DAS Cisadane

Sumber variasi	DK	JK	KT= JK/DK	F	
				Hitung	Tabel
Antar perlakuan	1	0,004304	0,00430	0,88	4,30
Dalam perlakuan	24	0,116498	0,00485		
Jumlah	25	0,120802			

Tabel 11. Analisis varian (I_{bi}) lokasi DAS Ciujung Hulu dan DAS Cisadane

Sumber variasi	DK	JK	KT = JK/DK	F	
				Hitung	Tabel
Antar perlakuan	1	0,00049	0,00049	0,57	4,30
Dalam perlakuan	24	0,02062	0,00085		
Jumlah	25	0,02111			

Tabel 12. Analisis varian (I_{be}) lokasi DAS Ciujung Hulu dan DAS Cisadane

Sumber variasi	DK	JK	KT = JK/DK	F	
				Hitung	Tabel
Antar perlakuan	1	0,00052	0,00051	0,88	4,30
Dalam perlakuan	24	0,01387	0,00057		
Jumlah	25	0,01439			

KESIMPULAN

Konsentrasi radionuklida alam U-238, Th-232, dan K-40 yang diperoleh dari ke dua lokasi DAS sangat kecil dibawah baku mutu yaitu sebesar 25 Bq/kg dan masih dibawah rata-rata dunia. Sebaran konsentrasi U-238 di kedua lokasi berkisar antara 6,38–17,67 Bq/kg, konsentrasi Aktivitas Th-232 dan K-40 masing–masing berkisar anantara 11,56–

23,45 Bq/kg dan 49,76–289,65 Bq/kg. Nilai Ra_{eq} pada ke dua lokasi DAS berkisar antara 34,799 – 56,912 Bq/kg masih dibawa batas yang direkomendasikan oleh UNSCEAR yaitu sebesar 370 Bq/kg. Nilai indeks bahaya radiasi I_{yr} , indeks bahaya radiasi internal (I_{bi}), dan indeks bahaya radiasi eksternal (I_{be}) di kedua lokasi DAS masing–masing < 1 sehingga masih aman terhadap manusia. Dari hasil uji statistik terhadap parameter Ra_{eq} dan tingkat

bahaya radiasi tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara ke dua lokasi DAS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Darman dan Bapak Wagiyanto atas bantuannya dalam proses pengambilan sampel dan preparasi sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] WIGMAN, "Sediment Transportation, Chapter 11 In Gray, D.M. (ed) Handbook on The Principles of Hydrology", Canadian National Committee for The International Hydrological Decade. J. M. 1970
- [2] IAEA, "Naturally Occurring Radioactive Material (NORM), proceedings of the Fifth International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material". IAEA-Vienna. 2008.
- [3] ZAPATA. F. "Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides." 2002
- [4] Kunto Wiharto dan Syarbaini, "Potensi NORM Pada Industri Non-Nuklir Di Indonesia", "Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan Pada Industri Non Nuklir", hal 1-13, 2003
- [5] Sieman, K., Esterlund, R.A., Van Aarle, J., Knaaek, M., Estmeier, W., Patzelt, P, "A New measurement of the gamma ray intensities of Pa-234 Accompanying the decay of U-238", "Applied radiation and isotopes 43 (7), P 873-880", 1992
- [6] P3KRBIN - BATAN, "Instruksi Kerja Analisis 228Th, 226Ra, 228Ra, dan 40K Pada Sampel Tanah, sedimen, dan Bahan Bangunan, Laboratorium KKL", Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 2003.
- [7] S.A.MUJAHID., A. RAHIM. S. HUSSAIN and M. FAROOQ., *Radiat. Prot. Dosim.*, 130 : 2008, pp 206 – 212.
- [8] Beretka, J. And Mathew, P.J., "Natural Radioactivity on Australian Building Materials, Industrial Wastes and By-Products. *Health Physics*", 48(1), P 87-95. 1985
- [9] UNSCEAR, "Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee Effects Of Atomic Radiation", Report to the General Assembly, United Nations, New York. 1993
- [10] NEA-OECD. " Nuclear Energy Agency. Exposure to radiation from natural radioactivity in building materials. Report by NEA Group of Experts", OECD. Paris. 1979
- [11] UNSCEAR 2000 "Sources and Effects of Ionizing Radiation". Vol.1. REPORT 2000
- [12] Vidmar T., Kanisch G., and Vidmar G. "Calculation of true coincidence summing corrections for extended sources with Efftran", *Applied Radiation and Isotopes* 69, 908-911, 2011
- [13] UNSCEAR, "United Nations Scientific Committee on The Effect of Atomic Radiation. Exposure from Natural Sources of Radiation". Report to the the General Assembly, United Nations, New York. 1988.
- [14] Bapeten, Kep. Ka.Bapeten No. 02 /Ka-BAPETEN/V-99 tentang Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan, BAPETEN, Jakarta 1999.
- [15] Bikit, J. Slivka, Lj. Conkic, M. Krmar, M. Veskovic, N. Zikic-Todorovic, E. Varga, S. Curcic, D. Mrdja. " Radioactivity of the Soil in Vojvodina Northern Province of Serbia and Montenegro". *J.of Environmental Radioactivity*.78.p.11-19. 2005.
- [16] "United Nations Scientific Committee on The Effect of Atomic Radiation UNSCEAR," Report to the General

Assembly, Annex B ; Exposures from Natural Radiation Sources, 2000.
[17] UNSCEAR, "Sources and Effects of Ionizing Radiation Report to the

General Assembly". Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UN, New York, 2000.